

早稲田大学大学院 情報生産システム研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

**Study on Adaptive Hybrid Genetic Algorithm and
Its Application to Engineering Design Problems**

適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムと
工学設計問題への応用に関する研究

申 請 者

尹 泳 秀

YoungSu Yun

2005 年 1 月

複雑な組合せ最適化問題の有効な解法アプローチとして確立されてきた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA)は、近年、ソフトコンピューティング技術の一つとして、多峰性の数値最適化問題、スケジューリング問題、サプライチェーン・ネットワーク問題のように広範囲な工学設計問題に数多く活用されて来た。遺伝的アルゴリズムは NP 困難な最適化問題や数学モデルの定式化が難しい問題の最適解あるいは準最適解を探索する強力なメタ・ヒューリスティクスであり、また確率的最適化手法とも呼ばれている。

しかし、遺伝的アルゴリズムは工学設計などの最適化問題への応用において、二つの主な短所を持っている：

- 1) パラメータ設定の複雑さ：GA では解候補の数、交叉の確率、突然変異の確率など設定すべきパラメータが多く、またこれらのパラメータは解探索能力に大きく影響を及ぼす。更には、取り扱う工学設計問題によって各種パラメータの設定値が異なる。
- 2) 広域探索 (exploration) と局所探索 (exploitation) のバランシング：GA において効率的な探索を実現するためには、広域探索と局所探索のバランスが重要である。広域探索とは探索空間を広域的にくまなく探索することであり、また局所探索とは局所解を重点的に探索することである。

これらの GA の問題点に対する有効性能を向上させるため、局所探索法 (local search method)、ファジロジック・コントローラ (Fuzzy Logic Controller: FLC) などの従来のヒューリスティクスと組み合わせる最適化手法、すなわちハイブリッド型遺伝的アルゴリズム (Hybrid Genetic Algorithm; HGA) を確立することが求められている。

まず、従来のヒューリスティクスを組み込んだハイブリッド遺伝的アルゴリズム (HGA) を開発するために、遺伝的探索プロセスの間に新しい局所探索法を活用することを提案している。すなわち、局所探索法を改良した反復的山登り法を使用して、HGA の本体内でより良い解を求めるためにハイブリッド遺伝的アルゴリズムを確立している。

更に、GA の各種パラメータの正確な設定法の研究は、GA に設定したパラメータ値に高く依存することから、多くの研究者が正確なパラメータ設定手法を開発するために数々の研究が行われて来たが、本研究では従来の研究を比較分析し、ファジロジックと局所探索法を組み合わせた適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム (flc-aHGA) を提案している。

第1章 "Introduction (序論)" では、本研究の背景を紹介し、本研究の目的を明らかにしている。すなわち、i) 工学設計問題の特徴、ii) 現在の GA 開発の状況、iii) 多くの工学設計問題に GA を適用する場合の長所と短所、iv) 開発した適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム (flc-aHGA) の特長および応用分野について紹介している。

第2章 "Genetic Algorithm (遺伝的アルゴリズム)" では、GA の一般的形態を説明している。すなわち、遺伝子表現、評価関数、遺伝的操作などの GA の基本的構造及び構成要素を詳細に紹介している。また、工学設計問題に適用するための GA の応用能力に対する短所と長所を明らかにしている。従って、第2章では新しい遺伝的アルゴリズム、すなわち適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム (flc-aHGA) 開発の必要性を明確に述べている。

第3章 "Design of Adaptive Hybrid Genetic Algorithms (適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムの設計)" は本学位論文の主要部分で、本研究で提案された適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム

(flc-aHGA)を構築するための様々な適応性のあるスキーム及び局所探索法と他の比較対処のアルゴリズム,すなわち基本GA(cGA),ハイブリッドGA(HGA),二つの適応型HGA(aHGA)を明らかにしている。従来のファジロジックを組み込んだ適応性のあるFLCスキームとヒューリスティック・スキームの2手法を使用し,更にそれらを詳細に分析している。ハイブリッドGAを設計するために,局所探索を改善した反復的山登り法を開発している。更に,適応性のあるスキームと改善された反復的山登り法を使用して,適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム(flc-aHGA)を提案している。従って,第3章ではflc-aHGAの適応型スキームと局所探索について詳細に記述し,提案したflc-aHGAと従来のアルゴリズム(cGA, HGA, 二つの適応型aHGAs)との相違点を明確にしている。

第4章 "Numerical Optimization Problems(数値最適化問題)"では,第3章で開発された適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムと他の比較対処のアルゴリズム間の効率性を比較するために,数値最適化問題への応用例を明示している。提案手法の数値的実験を検証するために,既にその最適解が知られている三つの数値最適化問題の実験結果を明らかにする。数値実験の評価尺度として,

- i) 局所最適解に収束された回数(Number to Getting Stuck at a local optimum; NGS),
- ii) 平均世代数(Average Number of Generations; ANG),
- iii) 終了条件までの時間(Time to Termination Condition; TTC)

を使用している。同じ条件での数値比較を行うため,各アルゴリズムにパラメータを設定し,3つの数値最適化問題を使用して得られた結果は,定量的に比較・分析している。

従来のヒューリスティクスとFLCスキームを組み込んだ二つのアルゴリズムaHGA間の適用性能力を比較するにあたり,各アルゴリズムの探索過程において交叉率,突然変異率,平均適応度の収束状況も測定・分析している。数値最適化問題の様々な分析結果を通して,実験結果によって提案する適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム(flc-aHGA)の有効性を明らかにしている。

第5章 "Engineering Design Problems(工学設計問題)"では,典型的な工学設計問題でよく使用されている五つの事例研究について,基本GA(cGA),ハイブリッドGA(HGA),二つの適応型HGA(aHGA),更に提案した適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム(flc-aHGA)の効率性を比較実験している。最初に5つの事例研究に関する工学設計モデルを詳細に示し,次に実験結果の評価(最良適合値(Best Fitness Value; BFV),平均適合値(Average Fitness Value; AFV),NGS,ANGおよびTTC)を詳細に示している。工学設計問題の5つの事例研究に対する様々な数値実験の結果によって,他のアルゴリズム(cGA,HGA,二つの適応型aHGA)よりも,評価尺度AFV,NGS,ANGとの比較により,提案したflc-aHGAがもっとも効率的であることを明らかにしている。

第6章 "Preemptive and Non-preemptive Job-Shop Scheduling Problems(プリエンプティブ/ノンプリエンプティブ・スケジューリング問題)"では,プリエンプティブ・スケジューリング問題とノンプリエンプティブ・スケジューリング問題を用いて,基本GA(cGA),ハイブリッドGA(HGA),二つの適応型HGA(aHGA),更に提案する適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムの効率性を比較実験している。最初にスケジューリングの問題を記述し,次にノンプリエンプティブ・スケジューリングを効果的に扱うための制約プログラミングを提案している。最後に,ノンプリエンプティブ・スケジューリング問題の数式モデルを定式化し,GAの染色体表現の設計,交叉や突然変異のアルゴリズムをそれぞれ提案している。数値実験の評価尺度として,i) 最良適合性価値(BFV)とii) 終了条件までの時間(TTC)を使用

し、各アルゴリズムにより得られた数値実験結果を比較すると、提案手法の適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムが aHGA1 と aHGA2 よりも効率的であることを明らかにしている。

第 7 章 “Design of Supply Chain Network(サプライチェーン・ネットワーク設計)”では、サプライチェーン・マネジメント (Supply Chain Management; SCM) 環境で重要な問題の一つであるサプライチェーン・ネットワーク設計問題を取り扱っている。まず、サプライチェーン・ネットワーク問題を GA で実装するために染色体設計を詳細に提案し、次に基本 GA (cGA)、ハイブリッド GA (HGA)、二つの適応型 HGA (aHGA) と適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム(flc-aHGA)で様々なタイプのサプライチェーン・ネットワーク問題例で比較実験を行なっている。提案した適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム (flc-aHGA) の効率性を評価尺度 (NGS、ANG 及び TTC) によって有効性を比較実験で明らかにしている。

第 8 章 “Conclusion(結論)”では、第 4 章 数値最適化問題、第 5 章 工学設計問題、第 6 章 スケジューリング問題および第 7 章 サプライチェーン・ネットワーク設計問題の中で分析された様々な実験の結果から、下記の結論を確認することができる。

- (1) 改善された反復的山登り法を GA の本体(HGA, aHGA1, aHGA2 および flc-aHGA)内に組み込むことにより、組み込まないアルゴリズム(cGA)に比較して、探索プロセスの効率性が良い。
- (2) 数々の比較実験結果において、適応性を備えた二つの aHGA 及び flc-aHGA が、適応性を備えていない cGA と HGA よりも実験結果が良好である。
- (3) 第 3 章で提案したハイブリッド遺伝的アルゴリズム HGA を使用した比較結果は、ファジィ・ロジックの適応性スキームを組み込んだ flc-aHGA が、ヒューリスティックの適応性スキームを組み込んだ aHGA1 および aHGA2 よりも効率的で、よりロバスト性 (robustness) がある。

上記の数々な比較実験の分析により、本研究で提案した適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズム flc-aHGA の効率性が証明された。

以上を要約すると、本博士論文では、従来の GA の短所を克服するために遺伝的パラメータの正確な設定法と、効率的な探索を実現するために広域探索と局所探索をバランス良く行うための効率的な遺伝的アルゴリズムを研究し、ファジィロジックと局所探索法を組み合わせた適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムを提案している。更に、複雑なスケジューリング問題、数値最適化問題、サプライチェーン・ネットワーク問題等の工学設計問題への提案手法の適応性を明らかにするために、数々の数値実験と評価尺度を通して、開発した適応型ハイブリッド遺伝的アルゴリズムが効率的であることを明らかにしている。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2005 年 1 月 15 日

審査員

主査	早稲田大学	教授	工学博士 (工学院大学)	玄 光 男
	早稲田大学	教授	工学博士 (九州大学)	平澤 宏太郎
	早稲田大学	教授	工学博士 (大阪府立大学)	和多田 淳三
	早稲田大学	教授	工学博士 (早稲田大学)	石野 福弥